
Rendre invisible – L’infographie et la fin des *Médias optiques*

Ricardo Cedeño Montaña et Christina Vagt

Traducteur : Audrey Rieber



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/appareil/2580>

DOI : 10.4000/appareil.2580

ISSN : 2101-0714

Éditeur

MSH Paris Nord

Référence électronique

Ricardo Cedeño Montaña et Christina Vagt, « Rendre invisible – L’infographie et la fin des *Médias optiques* », *Appareil* [En ligne], 19 | 2017, mis en ligne le 21 décembre 2017, consulté le 30 juillet 2020.
URL : <http://journals.openedition.org/appareil/2580> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/appareil.2580>

Ce document a été généré automatiquement le 30 juillet 2020.



Appareil est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Rendre invisible – L'infographie et la fin des *Médias optiques*

Ricardo Cedeño Montaña et Christina Vagt

Traduction : Audrey Rieber

- 1 Notre analyse de la conception kittlérienne de l'infographie ne concerne pas en premier lieu ce que Kittler a réuni sous le titre de *Médias optiques*, mais quelque chose dont il traite à un autre endroit, dans un court article pour un ouvrage collectif dirigé par Herta Wolf : *Le Paradigme photographique*¹. Il y a deux raisons à cela. Premièrement, Kittler a publié « Computergrafik. Eine halbtechnische Einführung » [Infographie. Une introduction semi-technique] en 2002, la même année que les *Médias optiques*. On peut donc supposer qu'il n'a pas eu le temps d'intégrer cette « introduction semi-technique » à son cours sur les médias optiques. La seconde raison est d'ordre systématique et, en ce sens, plus kittlérienne : l'infographie n'est plus un médium optique – seule sa fin l'est ; une fin à partir de laquelle Kittler dessine cette histoire à grands traits, une fin qu'il évoque certes dans les *Médias optiques* sans pour autant la développer². Notre objet n'est justement pas d'aboutir à la fin des médias optiques. Nous voulons bien plutôt réfléchir aux débuts d'une théorie de l'infographie qui « convient à une situation, dans laquelle les images sont le code dominant de la communication³ ». Le choix d'ouvrir et de fermer notre argumentation par les deux théoriciens des médias que sont Kittler et Flusser n'est pas arbitraire, mais sert à poser un problème fondamental : le second s'intéresse aux images et tente de s'extirper, en essayiste, de l'histoire coloniale européenne de l'écriture, le premier se consacre aux écritures derrière l'image, aux opérations mécaniques et à une sorte d'eschatologie média-technique, à une histoire de l'Occident qui trouve sa fin dans l'être des algorithmes de l'ordinateur. Les positions de Kittler et de Flusser sur les images de synthèse semblent ainsi complémentaires. Tandis que dans *Communicologie* ou dans *L'Univers des images techniques*, Flusser propose une théorie de la culture qui étend l'être et la valeur du régime de l'image contre celui de l'écriture, Kittler maintient le primat du symbolique.

- 2 Dès la première phrase de l'« Introduction semi-technique », Kittler pose clairement que les médias et l'infographie ne concernent pas l'image, mais les programmes qui génèrent des images.

Les infographies ne sont pas des images mais des programmes. Les images par ordinateur sont l'output de l'infographie. Les infographies sont des softwares qui, lorsqu'ils fonctionnent avec un hardware approprié, donnent quelque chose à voir et pas seulement à lire⁴.

- 3 Selon Kittler, et pour le dire de manière générale, les médias techniques n'ont pas pour fonction de prolonger nos corps mais de tromper nos sens. Du point de vue de la perception sensible, l'infographie feint une optique (hardware) là où seuls règnent des algorithmes (software). Fidèle en cela à la tradition des Lumières, la théorie des médias se donne pour tâche de mettre un terme à cette illusion en se tournant vers les algorithmes, c'est-à-dire vers les programmes eux-mêmes, raison pour laquelle Kittler se mit à écrire et à enseigner la programmation de logiciels d'infographie à partir des années 1990.

- 4 L'ordinateur en tant que tel n'est pas un médium optique. Néanmoins, avec l'apparition des processeurs graphiques auxquels les départements d'études culturelles (*Kulturwissenschaft*) eurent aussi accès, au plus tard à partir des années 1990, il devint clair que cette machine, qui peut simuler toutes les autres machines et tous les autres médias, est aussi une machine productrice d'images. Et rien ne limite la manipulation informatique d'autres médias (optiques), si ce n'est le temps de calcul et la capacité de stockage de la machine. Ainsi donc, tandis que dans le cas de la télévision, du cinéma et de la photographie, le hardware optique fait tout simplement ce qu'il doit faire, avec l'ordinateur, l'optique est virtualisée et seulement limitée par la mémoire de stockage.

L'infographie est à ces médias optiques [de la *camera obscura* à la caméra de télévision] ce que ceux-ci sont à l'œil. Tandis que la lentille de la caméra, qui est littéralement un hardware, simule l'œil, qui lui est littéralement un *wetware* [cerveau], dans le cas de l'infographie, un software, simule un hardware⁵.

- 5 Lorsqu'un software simule un hardware, on n'a plus affaire à une opération optique mais symbolique. Pour Kittler, l'infographie rend l'optique optionnelle. Il en résulte que ce n'est pas l'output de l'infographie, c'est-à-dire l'image numérique, qui est au centre de sa réflexion, mais la seule question de savoir *comment* l'image peut être produite. Le professeur d'esthétique et d'histoire des médias qu'est Kittler en tire discrètement mais clairement la conclusion que la question de l'infographie est identique à celle des *Médias optiques* : il s'agit dans les deux cas de penser une esthétique qui dépend d'une certaine optique. Ce ne sont pas les images, mais des hardwares optiques et des softwares qui conditionnent la perception et l'intramondain. Le motif heideggérien d'une modernité dominée par les images et les représentations (l'époque des conceptions du monde⁶) – motif qui a laissé des traces chez Kittler comme chez Flusser – ressemble au problème de la représentation dans la science et la philosophie, problème sans lequel la théorie des médias du tournant du siècle est impensable. L'infographie actualise ce motif. La référence intramondaine du *Dasein*, qui demeure généralement discrète et invisible, résulte d'une succession d'étapes plus ou moins liées entre elles. Derrière les images et les représentations opèrent les programmes.

- 6 Tandis que l'optique devient optionnelle, l'esthétique migre vers le traitement de données, un passage que l'on peut, avec l'artiste et mathématicien Frieder Nake, faire remonter assez précisément aux années 1970 : avec *Sketchpad* d'Ivan Sutherland apparaît une interface graphique qui distingue clairement la surface visible de l'image

de sa sous-face invisible mais modifiée, tout en maintenant l'utilisateur dans l'illusion que c'est lui qui dessine sur l'écran.

L'image comme image numérique est au premier chef devenue *algorithmique*. Elle possède désormais aussi une intériorité sous la surface, ou plutôt : elle est surface et sous-face en même temps. Toutes deux sont objectivement données – et c'est décisif. La surface de l'image numérique est *visible* tandis que la sous-face est *modifiable*. La surface est là pour l'utilisateur, la sous-face pour le processeur (avec un programme). À la sous-face appartient uniquement ce qui est donné comme structure de données et algorithme⁷.

- 7 Les processus à la sous-face de l'image sont constitués de multiples opérations automatisées de traitement de données : chercher, trier, tabuler, interpoler, lisser, lancer (*trace*). À la différence de toutes les autres images, la spécificité des images de synthèse réside dans la *manipulabilité* de la sous-face et dans sa capacité à faire apparaître la *surface* visible tout en demeurant elle-même cachée. Parce qu'il est archéologue des médias, Kittler explore exclusivement la sous-face, c'est-à-dire les programmes. Les surfaces ne l'intéressent pas. « L'infographie, en revanche, parce qu'elle est un software, consiste en des algorithmes et en rien d'autre⁸. »
- 8 Décrire les débuts de l'histoire de l'infographie ne suffit pas à rendre compte des images de synthèse, parce qu'à la différence des images traditionnelles, elles ne consistent pas seulement en un matériau et en une signification, mais aussi en une surface visible et en une sous-face modifiable. Nous commencerons nous aussi par essayer de décrire cette sous-face ; mais tandis que Kittler envisage l'infographie à partir de deux programmes paradigmatiques, *Raytracing* et *Radiosity*, qui fonctionnent selon l'opérateur logique ou-ou et qui sont toujours encore implémentés dans tous les programmes graphiques, nous compléterons l'archéologie kittlerienne de l'infographie par un modèle feuilleté de trois procédés statistiques successifs. En envisageant l'histoire de l'infographie selon deux paradigmes seulement, Kittler la stylise en un choix tragique entre sujet et non-sujet. Nous nous intéresserons, quant à nous, plutôt au fait que l'infographie transforme rétrospectivement l'histoire des médias optiques en une escalade de l'invisible.
- 9 Dans la première section de cet article, nous essayerons d'examiner la sous-face de l'image à partir de trois problèmes centraux rencontrés par l'infographie à ses débuts : l'invisibilité de l'envers d'un objet, les arêtes et, enfin, la trame de l'écran. Dans la deuxième section, nous nous consacrerons à la surface de l'image et à son utilisateur, et élargirons l'histoire de l'invisibilité proposée par l'archéologie des médias à partir des productions d'une artiste contemporaine qui a développé une stratégie du *How not to be seen*.

1. Sous-faces

- 10 Les images techniques sont le produit de savoirs et de textes technico-scientifiques. Les images infographiques se distinguent des autres images techniques en ce qu'elles sont de purs produits mathématiques. Elles ne sont pas les symptômes d'un monde chaotique qu'il faudrait organiser visuellement comme film ou comme vidéo analogique. Elles sont formées à partir de statistiques de points dans lesquelles le point est, d'une part, une unité géométrique (le pixel écrit sur un écran) et, d'autre part, une unité de donnée calculée mathématiquement – triées, interpolées ou lancées (*traced*).

- 11 En surface, les images infographiques sont des images qui simulent le hardware de médias optiques tels la perspective centrale ou l'optique d'une caméra par exemple. Elles n'ont en revanche aucun input optique. En deçà de la visibilité, à la sous-face de ces images, les programmes infographiques commandent une longue chaîne d'algorithmes et de statistiques qui traitent des données pour trier, interpoler et lancer (*to trace*) d'innombrables collections de points dans l'espace. Ces opérations mathématiques et statistiques constituent la racine de ce que Paul Virilio a appelé l'image statistique⁹. Elles forment la couche matérielle d'un type d'*imagery* (une symbolique d'images) qui ne devient possible qu'avec le « traitement universel et discret de données appelé ordinateur¹⁰ ».
- 12 Les images de synthèse sont des objets hyper granulaires dont chaque point suscite d'innombrables calculs. C'est seulement en tentant une *datafication* statistique complète du point que les ordinateurs peuvent faire apparaître quelque chose qui, en réalité, n'a ni forme ni dimension : l'information. Nous proposons dans ce qui suit une brève histoire médiatique de l'infographie centrée sur trois problèmes rencontrés historiquement par les modèles en 3D : d'abord le tri de tous les angles en relation avec un observateur hypothétique, ensuite la distribution des ombres d'un objet et, troisièmement, le calcul des valeurs de luminosité d'un écran de pixels.

Cacher les lignes

- 13 L'histoire du *Hidden Surface Problem*, auquel les sciences informatiques se sont intensivement consacrées dans les années 1960 et 1970, appartient à une généalogie de l'image par ordinateur construite non pas à partir de la surface de l'image visible, mais à partir de la *sous-face* qui la fonde et des techniques qui la produisent¹¹. Les solutions apportées à ce problème constituent un tournant historique dans l'histoire de la représentation bidimensionnelle de scènes tridimensionnelles, car elles relèvent d'opérations statistiques de structuration d'objets et non de procédés géométriques d'organisation de la vision, comme c'est le cas dans la représentation en perspective centrale par exemple.
- 14 Tandis que la perspective centrale mobilise une méthode visuelle de dessin qui repose sur la mesure et les relations géométriques, l'infographie est fondée sur des algorithmes et un traitement des données qui apparaissent à la surface de l'écran en vertu de « l'application de systèmes d'équations mathématiques¹² ». L'infographie décompose chaque objet d'une scène en coordonnées spatiales et en informations de couleur, sous forme de données discrètes. C'est seulement par la suite que ces données sont ordonnées en liste et triées selon des critères déterminés comme la profondeur par exemple.

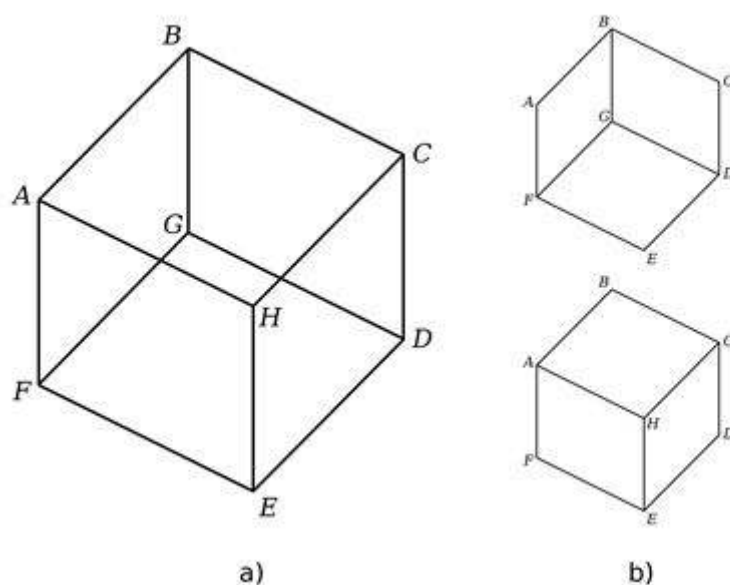


Illustration 1. Quel angle faut-il cacher ?

RICARDO CEDEÑO MONTAÑA

- 15 L'illustration 1 illustre un cas très simple du *Hidden Surface Problem*. La figure de gauche (a) montre l'ensemble des angles et des arêtes d'un cube, ce qui produit une image ambiguë puisqu'il est impossible de décider lequel des angles G ou H se trouve sur la face arrière du cube et devrait donc être invisible si l'objet était opaque. Nous sommes confrontés à une situation où nous ne connaissons pas la position de l'observateur hypothétique, car il existe deux possibilités, comme le montrent les figures de droite (b). Il s'agit de décider quels sont les angles et lignes d'une scène devant être cachés dans l'image calculée. Pour générer une image univoque du cube, le programme informatique doit lister tous les angles et les organiser selon leur position dans l'espace et la distance de l'observateur. Pour générer un résultat visuel, un ordinateur doit accomplir une recherche exhaustive et trier tous les points d'une scène. Supprimer les lignes cachées est très facile dans le cas d'un objet simple comme le cube. C'est en revanche un défi que d'y parvenir par un calcul efficace et en temps réel, ainsi que pour des objets plus complexes et nombreux.
- 16 Quelle que soit leur complexité, les objets en 3D sont toujours une accumulation de surfaces lisses qui résultent chacune de la liste exhaustive des coordonnées des points et de leurs relations¹³. Ils se composent exclusivement des adresses et des valeurs. Chaque angle est listé dans un système de coordonnées en tant que $q = [x, y, z, w]$. Un tel système, initié en 1827 par August Ferdinand Möbius, utilise quatre adresses à la place des trois coordonnées cartésiennes habituelles ; il introduisit une nouvelle forme de géométrie analytique¹⁴. À la différence des coordonnées cartésiennes, l'opérateur supplémentaire (w) permet au système de faire se rencontrer les parallèles, c'est-à-dire de mettre à mal l'un des axiomes fondamentaux de la géométrie euclidienne. Ce concept scientifique est capable de décrire mathématiquement la géométrie d'une caméra, dans la mesure où un système de coordonnées fini est utilisé pour projeter des points dans l'infini. Dans le système de coordonnées de Moebius, les équations d'un

espace en 3D sont représentées comme surface en 2D. Tous les points et toutes les lignes sont projetés sur un seul point de la surface. De cette manière, la fonction d’un sténopé peut être représentée analytiquement. L’infographie n’opère jamais dans l’espace euclidien, mais d’emblée dans l’espace projectif qui converge vers un point.

- 17 En 1974, l’un des pionniers de l’infographie, Ivan Sutherland, analysa avec deux autres scientifiques dix algorithmes différents ; la taxonomie qu’ils établirent souligne l’hétérogénéité des approches et des techniques avec lesquelles le *Hidden Surface Problem* put être résolu, et permit aussi d’identifier les principes communs à l’ensemble des algorithmes. Ils parvinrent à la conclusion selon laquelle l’ambiguïté de la visibilité ne peut être évitée que si l’on suit deux principes fondamentaux : le tri et la cohérence¹⁵. Pour générer des scènes en 3D sont donc nécessaires, d’une part, un ordonnancement statistique de tous les angles des objets et, de l’autre, la description de surfaces complexes comme *set* de polygones plats et de lignes droites.
- 18 Les algorithmes de tri appartiennent à la longue histoire du traitement (mécanique) de grandes quantités de données. Dans le traitement des données, le tri signifie « rearrangement of items into ascending or descending order¹⁶ ». L’implémentation de cette technique de base dans une machine est aussi ancienne que les tabulatrices conçues par Hermann Hollerith dans les années 1880 pour le bureau du recensement américain. Vers la fin du XIX^e siècle, à une époque de forte croissance démographique, la tabulation de données statistiques constituait un problème majeur. Dans le système de Hollerith, chaque donnée individuelle enregistrée devenait un objet statistique, et les données étaient triées selon des critères spécifiques et à l’aide de compteurs mécaniques¹⁷. Lorsque les ordinateurs numériques firent leur apparition à la fin des années 1940, le tri mécanique était donc déjà une technique bien établie, et un algorithme de tri fut immédiatement implémenté dans l’un des premiers ordinateurs : l’EDVAC¹⁸.
- 19 Les concepteurs de l’EDVAC accordaient une grande importance au procédé de tri, car un *ordering code* efficace ne résoudrait pas seulement des équations différentielles, mais démontrerait les « combinatorial “decision-making” aspects of algorithms¹⁹ ». Au début des années 1950, l’EDVAC fut surtout utilisé sur l’Aberdeen Proving Ground dans le Maryland pour calculer des trajectoires de vol. Le problème infographique consistant à décider quelles parties d’un objet sont visibles ou non, est donc immédiatement lié à la longue histoire du traitement des données, du recensement de la population et de la visée de cibles mobiles par les armes à feu. Dans un espace projectif, un algorithme de tri ordonne les polygones en relation avec l’angle le plus proche de l’observateur. C’est en fonction de ce critère qu’il tabule les points angulaires comme visibles ou invisibles. Avec cet algorithme, le traitement de données statistique devient la base de toutes les images par ordinateur.
- 20 Dès que les positions géométriques de tous les points angulaires d’un polygone sont triées, le problème suivant à résoudre pour générer une simulation d’images optiques consiste à savoir comment ombrer chacune des surfaces. C’est de nouveau la statistique qui a donné la solution.

Ombre les surfaces

- 21 Pour générer une image de synthèse réaliste, il ne suffit pas de cacher les surfaces invisibles d’un objet en 3D. Au début des années 1970, des chercheurs en infographie

comme Henri Gouraud et Bui Tuong Phuong commencèrent à chercher des solutions « to generate an image that approximates the real object closely enough to provide a certain degree of realism²⁰ ». Ils créèrent pour cela un algorithme qui calcule l'ombrage d'un objet comme fonction continue des données de tous les points angulaires de cet objet.

- 22 Le problème de l'ombrage est assez facile à décrire : il consiste à savoir comment générer l'illusion d'une surface lisse mais courbe lorsque la surface donnée consiste en fait en un *set* de petites faces planes ?²¹ L'illustration 2 donne à voir une telle face plane $ABCD$. Pour le dire sommairement, un algorithme d'ombrage calcule le niveau de gris au point P en interpolant l'ombrage et l'orientation d'un point angulaire à partir de $ABCD$. Pour une surface courbe, il estime une valeur de gris différente pour chaque point de trame de l'écran. La structure en facette de l'objet, un principe de l'infographie que Sutherland caractérise justement de *cohérence*, simplifie le calcul des ombres, car plus le nombre de faces de l'objet est petit, plus vite l'ombrage peut être calculé.

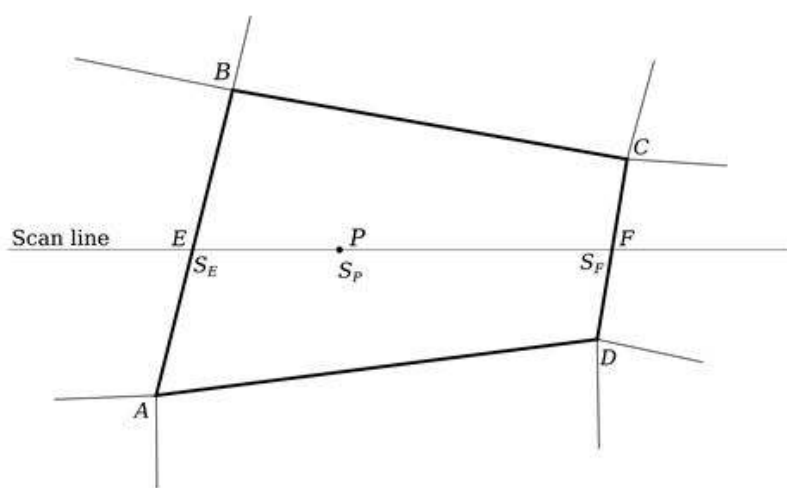


Illustration 2. Projection d'un polygone coupé par une ligne de balayage

L'illustration 2 prend pour modèle l'article de Henri Gouraud, « Continuous Shading of Curved Surfaces », in *IEEE Transactions on Computers* C-20, n° 6, juin 1971, 623-629, p. 91.

RICARDO CEDEÑO MONTAÑA

- 23 Au début des années 1970, à l'Université d'Utah principalement, différentes approches furent développées pour déterminer le niveau de gris de P . En 1971, un doctorant de Sutherland du nom de Gouraud publia un algorithme qui calcule d'abord les valeurs d'ombrage le long des faces E et F (de l'illustration 2) puis calcule l'ombrage de chaque pixel le long de la ligne de balayage en interpolant l'ombrage du point d'intersection entre les arêtes et la ligne de balayage, S_E et S_F (illustration 2)²². En utilisant une chaîne d'interpolations adaptée aux coefficients pour exprimer la position relative de E , F et P , Gouraud parvint en 1971 à générer, littéralement point par point, la surface lisse et courbe d'un modèle 3D : le visage de sa femme²³.
- 24 Dans ce visage humain généré synthétiquement, la valeur de tout S_p tient compte de l'ombrage des côtés voisins afin que les arêtes entre les côtés demeurent invisibles. À vrai dire, ce premier visage numérique ne parvenait que partiellement à cacher sa structure en facette. La cohérence a des effets secondaires. Lorsque la surface est fortement courbée, des changements abrupts de la courbe de brillance apparaissent, la

structure en facette devient visible et l'illusion de continuité est rompue. Le physicien Ernst Mach observait dès 1865 : « Chaque courbure d'une courbe, tout approfondissement ou accentuation d'une surface signifie toujours l'écart de la sensation spatiale par rapport au centre de l'environnement²⁴ ». À cause de cet effet optique appelé les bandes de Mach, il est impossible de cacher la structure interne d'un modèle 3D à la vue de l'homme, car l'augmentation du contraste entre les arêtes du polygone et son environnement rend les arêtes toujours plus claires. Augmenter tout simplement le nombre de faces pour éviter cet effet lumineux indésirable était infaisable en raison du temps de calcul que cela aurait nécessité. C'est la mise en relation de chaque point angulaire avec l'observateur qui permet de cacher les facettes de la surface.

- 25 Par la suite, on a imité des situations physiques de projection d'ombres telles que les réflexions indirectes et spéculaires – grâce à des données que l'algorithme de Gouraud ne permettait pas de calculer²⁵.
- 26 Un algorithme permettant de générer plus efficacement de telles illusions fut écrit un peu plus tard par un autre doctorant de l'Université d'Utah, Bui Tuong Phuong. Phuong travaillait à la simulation mécanique de la lumière et aux optiques de sa transmission. En 1973, il écrivit un algorithme qui génère l'ombrage de tout point sur une surface 3D, sur la double base des paramètres de la source de lumière et de la lumière réfléchie vers l'observateur. À la différence [de l'ombrage] de Gouraud, le *Shader* de Phuong n'interpole pas les valeurs d'ombrage des points angulaires à chaque point de trame, mais la courbure de la surface et les réflexions indirectes et spéculaires produites par l'éclairage de la scène²⁶. Ce *Shader* part du principe qu'aussi bien la source de lumière que l'observateur se trouvent à l'infini, et que l'observateur est tout simplement une variable supplémentaire de l'équation d'illumination²⁷. Puisque ses images procèdent d'un pur calcul mathématique, le *Shader* de Phuong semble ne pas rendre les impressions des sens, mais donne plutôt des représentations mentales de la chose en soi.
- 27 Afin de calculer l'ombrage d'une surface, Gouraud et Phuong utilisent une technique antique d'établissement des orbites et des positions des corps célestes. L'interpolation, que les astronomes, les mathématiciens et les statisticiens ont étudiée pendant des siècles, est un procédé mathématique qui estime une courbe parabolique passant par tous les points donnés²⁸.
- 28 Au plus tard depuis le XIX^e siècle, les artisans d'art utilisaient des pistolets (aussi appelés perroquets), des outils à dessin consistant en des segments de courbes de différents diamètres qui leur permettaient de tracer à la main de longues courbes continues passant par un nombre donné de points. Les courbes irrégulières des artisans d'art furent formalisées après la Seconde Guerre mondiale grâce à la théorie mathématique des splines de Jacob Schoenberg, à l'endroit même où l'algorithme de tri de Hollerith fut implémenté dans l'EDVAC, à savoir au *Ballistic Research Laboratories* du *Aberdeen Proving Ground* dans le Maryland. Selon la théorie de Schoenberg, chaque courbe spline peut être représentée exactement dans une fonction segmentée qui lie en continu les coefficients de calculs multiples de points²⁹. Lorsque les ordinateurs numériques apparurent, le processus d'interpolation était donc en mesure de s'unir au tri et d'infiltrer les images techniques sous la forme de la théorie des splines. Parce qu'elle cachait les points non visibles et rendait les arêtes invisibles, la statistique s'empara de l'image par ordinateur

Tracing rays

- 29 Un écran d'ordinateur comprend une trame dans laquelle une coordonnée cartésienne et une valeur colorimétrique sont attribuées à chaque élément de l'image, à chaque pixel. Selon Kittler, l'image par ordinateur s'enracine donc dans un médium de guerre, le radar³⁰. Premièrement, le système d'alerte vert et rond fournissait un modèle précis pour localiser chaque pixel sur l'écran. Deuxièmement, ce médium militaire, dont la tâche consistait à intercepter des avions ennemis, fournissait également un modèle pour suivre le trajet des particules de lumière dans une scène 3D et pour déterminer la valeur de couleur de chaque pixel au niveau de l'observateur. Une fois que les points angulaires non visibles d'un modèle 3D sont cachés et que la surface en facette est lissée, le troisième problème qui se pose dans la réalisation d'une image de synthèse réaliste est de calculer l'ensemble des informations d'éclairage d'une scène 3D, car ce sont elles qui déterminent la couleur de chaque pixel.
- 30 Le *Shader* de Phuong traite les sources lumineuses comme des points infiniment éloignés d'un objet. Si l'on veut produire des images réalistes, il faut que celles-ci contiennent aussi bien des points lumineux à l'intérieur de la scène que leurs coefficients physiques de transmission et de réflexion. Vers la fin des années 1970, la recherche en infographie se concentra sur la simulation d'ombres, sur la réflexion lumineuse entre les objets et sur la transmission de la lumière par des objets transparents. Elle parvint à mettre au point des algorithmes capables de déterminer quels rayons lumineux contribuent effectivement à l'image et à trouver le bon mélange (rouge, vert et bleu) de couleurs. Parce que les objets 3D se trouvent dans un espace projectif paramétré et que l'écran consiste en une trame de petits carrés, la solution à ce problème existait depuis que Descartes avait appliqué l'optique géométrique classique aux lois de la réflexion et de la réfraction³¹. C'est avec le *raytracing* qu'apparut la combinaison, que Deleuze appellerait machinique, entre l'optique classique et l'espace projectif du XIX^e siècle : la machine algorithmique du XX^e siècle. Un programme de *raytracing* localise l'observateur derrière une trame dans laquelle chaque pixel représente un domaine rectangulaire constitué de quatre *sample points*³². Par chacun de ces *sample points* passe un algorithme récursif de *raytracing* comme celui de Turner Whitted de 1979, qui envoie une série de rayons à partir de l'observateur pour explorer une scène 3D simulée. Les rayons rencontrent les objets et interagissent à l'intérieur de la scène et, lorsque c'est possible, atteignent même la source lumineuse. Cela semble contre-intuitif car l'idée semble bien être de suivre les rayons lumineux à partir de leur source, jusqu'à ce que leur trajet croise l'observateur³³. Mais une telle méthode aboutirait à gaspiller beaucoup de temps, car seul un déprimant petit nombre de rayons parviendrait à l'observateur. Une fois que la scène a été suffisamment explorée, l'algorithme établit la contribution de chaque rayon lumineux à la couleur du pixel et détermine celle-ci comme une moyenne pondérée pour laquelle certains rayons sont plus importants que d'autres.

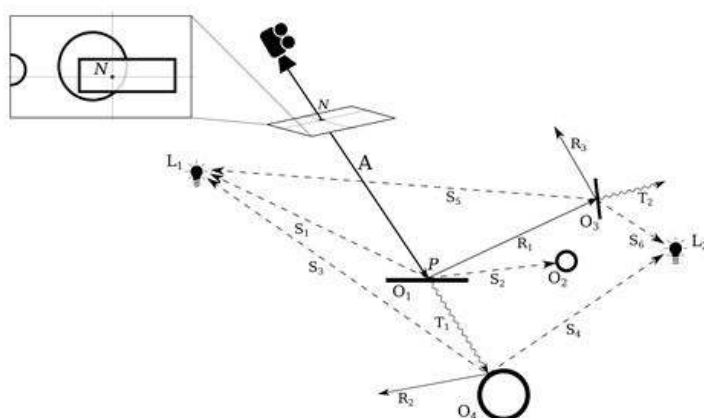


Illustration 3. Parcours du rayon A

L'illustration 3 prend pour modèle Andrew Glassner, « An Overview of Ray Tracing », in *An Introduction to Raytracing*, Andrew Glassner (ed.), San Diego, CA Academic Press, 1993, p. 1-31. Ici : p. 16.

RICARDO CEDEÑO MONTAÑA

- 31 L'illustration 3 montre un cas simple de *raytracing*. La scène comprend deux sources de lumière L_1 et L_2 , et quatre objets O_1 , O_2 , O_3 , et O_4 . Comme avec le radar, l'algorithme émet un rayon A qui coupe le plan de projection au pixel N et rencontre O_1 au point P. À partir de là, deux rayons S_1 et S_2 sont émis vers les deux sources lumineuses. S_1 rencontre L_1 sans interruption, c'est-à-dire que P est directement illuminé par ce rayon lumineux. Avant d'atteindre L_2 , S_2 rencontre un objet et génère une ombre. La surface semi-transparente et réfléchissante de O_1 transmet un rayon T_1 à un objet à l'arrière, et réfléchit un rayon R_1 vers l'objet de droite. Pour chaque objet, le processus du parcours inverse (*tracing back* en anglais) de la transmission et de la réflexion commence de nouveau. Ce processus est répété récursivement jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment d'informations pour qu'on puisse échauffer une supposition bien fondée sur la couleur du pixel N. De toute évidence cette récursivité ne peut opérer infiniment, car ni les machines ni les hommes ne disposent d'une mémoire de stockage ou d'une patience infinies pour attendre qu'une image apparaisse.
- 32 L'un des mantras de l'infographie est que plus la mémoire de stockage de l'ordinateur est grande, plus la trame du plan de projection est grande, et plus il peut calculer de rayons et collisions de rayons. Whitted soulignait déjà que l'infographie simule un phénomène continu avec un nombre discret de *samples*³⁴. Quelles que soient cependant la taille de la mémoire de stockage et de la trame, quand on regarde de près les images de l'infographie, elles laissent toujours voir une structure fragmentaire, et rompent ainsi le charme de la continuité de la surface.

2. Surfaces

- 33 Les images de synthèse réellement existantes ne parviennent donc pas à faire disparaître entièrement leur propre construction, et le rêve kittlérien d'une « infographie véritable » – c'est-à-dire d'une infographie qui ne serait plus élaborée à partir de l'œil humain et sur sa perspective, mais qui correspondrait à la composition

du monde matériel conforme à la lumière et donc à la physique quantique³⁵ – n'est pas prêt de se réaliser. C'est seulement à un stade utopique de développement qu'elle ferait ce qu'elle a jusqu'à présent cherché à cacher – l'impossibilité d'une représentation vraie du monde : « Aucun algorithme ne peut réaliser une image du monde aussi détaillée qu'intégrale³⁶ ».

34 Mais comme notre petite histoire médiatique des images de synthèse des années 1970 doit le démontrer, le développement technique de l'infographie n'a jamais eu pour but la représentation du monde, mais seulement une approximation statistique, c'est-à-dire une sorte de position ou première présentation du monde *comme* ensemble de points statistiques qui peut comprendre toutes les sortes de visions possibles grâce au tri, à l'interpolation et au *tracing*. Il s'agit de comprendre le maniement de cet ensemble de points bien ordonnés par la statistique, qui produit en lieu et place du chaos réel du monde l'univers des images techniques.

35 Le fait que les médias optiques trouvent leur fin dans les procédés algorithmiques de l'infographie ne signifie pas seulement que la technique joue le premier rôle dans l'histoire des médias. Le matérialisme kittlérien va également de pair avec une déconstruction du sujet, semblable à celle que la philosophie continentale d'après-guerre a largement pratiquée, mais rarement en lien direct avec les médias techniques. Le clou de son historiographie des médias optiques et de leur fin présumée dans l'infographie, est que cette histoire implique – pour ne pas dire impose – une philosophie sans sujet³⁷. Du point de vue de l'infographie, et au plus tard depuis le *Shader* de Phuong, le sujet n'est de fait plus qu'une variable dans un algorithme.

36 Les *Médias optiques* soutiennent que les médias de l'image électroniques ont déjà réduit l'imaginaire au minimum.

Au contraire du film, la télévision n'était déjà plus de l'optique. Il est possible de tenir un rouleau de pellicule devant le soleil et de voir ce que chaque image montre. Or si on peut bien intercepter des signaux de télévision, on ne peut plus les visionner, parce qu'ils n'existent que sous la forme de signaux électroniques. Les yeux peuvent se repaître uniquement à l'entrée et à la sortie de la chaîne de transmission, dans le studio et sur l'écran. En somme, le traitement numérique de l'image s'entend à liquider les derniers restes d'imaginaire³⁸.

37 Pour décrire cette fin un peu triste de l'imaginaire qu'entraîne le traitement numérique des images, Kittler recourt, comme souvent, aux trois registres de la psychanalyse structuraliste qui, dans les *Médias optiques* aussi, stylisent le récit de l'histoire des techniques et des guerres autour de la perspective centrale, de la photographie, du cinéma et de la télévision en une tragédie métahistorique d'un sujet barré. La psychanalyse de Jacques Lacan que Kittler s'amuse à ravalier au rang de « boîte à outils de la théorie des médias » n'est pas seulement réinterprétée sous l'angle de la théorie des médias, elle est aussi historicisée : son sujet doit d'abord traverser le stade du miroir, sous la forme du film de cinéma, avant d'être livré toujours davantage aux effets hallucinatoires du réel dans la condition vidéo.

Le réel est déterminé et exclusivement déterminé comme ce qui n'a ni forme – au contraire de l'imaginaire – ni syntaxe – au contraire du symbolique. En d'autres termes, le réel échappe tant aux ordres combinatoires qu'aux processus de perception optique et ne peut pour cette raison [...] être stocké et traité que par des médias techniques³⁹.

38 Le traitement du réel qui n'a ni figure ni symbole n'est plus le fait des corps mais des médias techniques qui ne visent pas plus le sujet cartésien que le *Dasein* heideggérien⁴⁰.

Les philosophies (du sujet) deviennent superflues : seule une théorie des médias est nécessaire. La polémique contre le sujet et la philosophie est toujours sous-entendue lorsque Kittler traite de la liquidation de l'imaginaire ou de la faiblesse épistémologique des images. Il est donc remarquable que le matérialisme kittlérien des médias continue à opérer dans une topologie dite du nœud borroméen, une structure mathématique qui illustre le modèle psychanalytique lacanien et réunit ses trois registres (symbolique, imaginaire, réel) dans une structure continue⁴¹. Si l'imaginaire devait effectivement être mis en question à l'époque de l'infographie, alors le symbolique, le réel et donc le sujet de la psychanalyse disparaîtraient – le nœud borroméen se disloquerait complètement. D'un point de vue psychanalytique, la transcription kittlérienne de la triade lacanienne en film (imaginaire), gramophone (réel) et machine à écrire (symbolique) ne fonctionne donc pas complètement⁴². Néanmoins, la mise en rapport de l'infographie et de la tragédie du sujet rationnel constitue l'une des forces de l'approche de Kittler : la matrice de la psychanalyse structuraliste lui permet quant à elle d'éviter de s'égarer dans le récit téléologique du progrès des médias techniques.

- 39 Ce que Kittler décrit dans son « Introduction semi-technique » est en même temps l'histoire du sujet cartésien (mais comprimée sous la forme de programmes mathématico-techniques comme le *raytracing*), un sujet dont l'optique est déplacée dans les abîmes physico-mathématiques du XIX^e siècle (par exemple sous la forme du problème du *shading*) et qui disparaît littéralement des écrans radars dans les statistiques machiniques du XX^e siècle (avec les calculs d'énergie lumineuse ou d'ombrage notamment), le sujet finissant par n'être plus qu'un paramètre dans l'espace virtuel et infini des mathématiques – un point parmi les points.
- 40 La blessure narcissique que les médias techniques infligent à l'homme dans l'histoire kittlérienne des médias s'inscrit dans la série des blessures causées par la révolution copernicienne, la théorie de l'évolution et la découverte de l'inconscient. Comme l'ensemble de l'histoire kittlérienne des médias, l'infographie est une forme d'histoire de l'être de la technique qui, tout à fait dans le sens de Heidegger, ne tolère aucune autre théorie du sujet ou de la vérité.
- 41 On trouve toutefois des passages qui semblent clairement proposer une voie différente ou une ouverture. Après qu'au XIX^e siècle les mathématiques ont commencé à calculer des surfaces et à faire des calculs en thermodynamique, que la physique a osé passer de la mécanique aux champs et que le sujet a follement joué sur la surface illimitée des rubans de Moebius, l'ordinateur numérique – et ici, Kittler ne cite plus Lacan mais Flusser – constitue la seule réponse possible à la question du XIX^e siècle⁴³. En permettant le calcul global des valeurs de luminosité et de couleur de chaque pixel, les procédés de *shading* et de *raytracing* des softwares 3D font disparaître la surface, puisque toute la géométrie est calculée comme ensemble cohérent de triangles et de carrés. Tandis que dans le *shading*, en conformité avec l'espace projectif, un point sans dimension se représente lui-même et ouvre de la sorte une infinité spatiale virtuelle, le procédé de *radiosity* de la fin des années 1980 que décrit Kittler referme le système virtuel : on n'a plus besoin d'un observateur pour suivre les rayons lumineux jusqu'aux yeux, mais seulement d'un calcul de l'énergie lumineuse « qui ne calcule plus un monde visible à partir de rayons et des points d'une surface [...], mais de surfaces éclairantes et éclairées⁴⁴ ». Ce n'est plus un sujet qui se représente lui-même, mais la surface orthogonale d'une puce d'ordinateur⁴⁵. À la fin de l'introduction semi-technique, l'ordinateur s' imagine presque lui-même.

- 42 Flusser nomme techno-imagination cette fermeture du système virtuel. Le point de départ des nouvelles images n'est pas une scène concrète, mais un concept abstrait, à savoir celui du code de la puce graphique. L'histoire des images techniques, que Flusser fait commencer avec la photographie, marque une césure radicale dans la communication humaine, tout aussi radicale que l'invention de l'écriture.
- 43 La techno-image ne promet pas seulement la fin de l'imagination classique, mais aussi celle des langues nationales : selon Flusser, la médiation par les textes sera bientôt complètement mise entre parenthèses par la communication par l'image. Toujours est-il qu'il s'agit d'images d'un nouveau genre : ce sont des images qui traitent de textes. Elles ne signifient plus des scènes concrètes, mais des concepts abstraits, scientifiques, et se situent à un tout autre niveau ontologique que les autres images : elles sont « un code révolutionnaire⁴⁶ ».
- 44 Le retour à Flusser à la fin des *Médias optiques* indique qu'après la fin présumée de l'imaginaire, il est peut-être encore possible de tracer une voie à travers le taillis et l'imagination des images numériques qui ne devraient en fait même pas exister⁴⁷. Toute l'histoire des médias optiques de Kittler, y compris sa fin dans l'infographie, est une pure perte de temps si la question du sens n'est pas posée. C'est ainsi que Flusser insiste sur deux thèses qui paraissent mériter réflexion. Premièrement, les techno-images ne sont certes pas des images traditionnelles mais elles continuent à communiquer comme images en dépit de leur spécificité. Deuxièmement, leur spécificité ne doit pas être cherchée dans leur méthode de génération, dans leur matériau ou dans leur structure, mais (bien) dans leur signification⁴⁸.
- 45 Chez Flusser aussi, les techno-images se distinguent surtout par leur « duplicité » ; en revanche l'histoire culturelle des médias qu'il propose montre que celle-ci ne constitue pas une propriété nouvelle mais tout à fait ancienne pour ne pas dire antique : la duplicité d'un « texte originaire » consisterait en ceci qu'il peut bien être réceptionné par ses récepteurs, mais non décodé. La structure du code encore incompris implique le danger « de structurer les structures de communication de telle façon qu'apparaissent une classe de scribes incompetents qui émet des informations et une foule analphabète qui les réceptionne sans les comprendre, et qui justement pour cela, les exécute selon l'ordre de l'émetteur⁴⁹ ».
- 46 La critique flusserienne des techno-images est une critique des médias de masse et de leurs faiseurs incompetents ; elle est fondamentalement politique. Vers la fin des années 1980, Flusser esquisse une résistance et les contours d'une nouvelle conscience qui n'est plus historique-linéaire, et résulte d'une nouvelle espèce de techno-imagination. Flusser annonce que des catégories comme avant-après, si-alors, vrai-faux, effectif-non-effectif finiront par perdre leur sens et seront remplacées par l'intersubjectivité, le changement de point de vue et la proximité, autant de nouvelles catégories avec lesquelles la conscience historique ne sait pas encore vraiment quoi faire. Du point de vue de la nouvelle techno-imagination que Flusser appelle de ses vœux, la séparation de la connaissance, de la volonté, du vécu et de leurs manifestations institutionnelles (la science, la politique, l'art) semble pour une grande part dépourvue de sens⁵⁰.
- 47 L'imaginaire, le mouvement de la scène concrète vers le concept abstrait ou le code, s'est déplacé avec l'infographie : derrière la surface des images, ce sont des concepts scientifiques et des procédés mathématiques qui opèrent. Les images ne sont plus que des formes intermédiaires et beaucoup d'entre elles ne sont jamais vues par un œil

humain, parce qu'elles sont envoyées par des machines à des machines et filtrées comme spam par des machines⁵¹. La culture de l'auto-surveillance de masse qui est issue des médias sociaux et des caméras de téléphones portables forme une grande part de l'univers des déchets d'images techniques, tel que le décrit l'artiste Hito Steyerl. Il est intéressant de remarquer que la circulation et la distribution de la surface des images, que la sous-face a rendues rapides comme l'éclair, suscitent des stratégies de retrait. Selon Steyerl, toujours plus de gens cherchent à échapper à l'omniprésente photo- et vidéosurveillance – dans les *Gated Communities* ou dans des clubs techno élitistes de Berlin par exemple, les caméras sont interdites⁵². Le travail d'artistes comme Steyerl se fait l'écho de la tendance actuelle à esquiver la représentation visuelle⁵³.

- 48 Contrairement à ce que Kittler soutient, l'histoire des médias optiques n'est donc pas (encore) terminée ; avec l'infographie, elle a seulement congédié les catégories historiques de la représentation et de l'imagination, et son historiographie doit se pencher sur les procédés d'invisibilisation, c'est-à-dire sur les procédés de l'anesthétique. Il est possible que d'autres stratégies dans le rapport à l'infographie puissent en émerger, comme le montrent les travaux artistiques de Steyerl dont les stratégies politiques de l'image se meuvent aussi bien à la sous-face, dans le programme, qu'à la surface, soit dans la communication avec les images. La philosophie des médias de Flusser semble suggérer qu'une grande part de notre conscience résulte de notre expérience de cette forme d'imagination qui est médiée par les surfaces techniques des images et par notre rapport quotidien à elles. Indiquons pour conclure que ce qui est appelé subjectivité se modifie sous l'effet de l'univers technique des images, et serait à penser au-delà de la représentation et de la visibilité.

BIBLIOGRAPHIE

- Bellin Isabelle, « Images de synthèse : palme de la longévité pour l'ombrage de Gouraud », in *Interstices*, 15, septembre 2008. <https://interstices.info/ombrage-gouraud>.
- Bitsch Annette, « *Always crashing in the same car* ». *Jacques Lacans Mathematik des Unbewussten*, Weimar, VDG Verlag und Datenbank für Geisteswissenschaften, 2002.
- Flusser Vilém, *Ins Universum der technischen Bilder*, Göttingen, Europ. Photography, 1992.
- , *Kommunikologie*, Mannheim, Bollmann, 1996.
- , *La Civilisation des médias* [1997], trad. Claude Maillard, Belval, Circé, 2006.
- Gaboury Jacob, « Hidden Surface Problems: On the Digital Image as Material Object », in *Journal of Visual Culture* 14, n° 1, 1^{er} avril 2015, p. 40-60. doi :10.1177/1470412914562270.
- Glassner Andrew, « An Overview of Ray Tracing », in *An Introduction to Raytracing*, Andrew Glassner (ed.), San Diego, CA Academic Press, 1993, p. 1-31.
- Gouraud Henri, « Continuous Shading of Curved Surfaces », in *IEEE Transactions on Computers* C-20, n° 6, juin 1971, p. 623-629.

Hagen Wolfgang, « Es gibt kein "digitales Bild". Eine medienepistemologische Anmerkung », o. J. <http://www.whagen.de/publications/EsGibtKeinDigBild/egkdb.htm>.

Hollerith Herman, *Art of Compiling Statistics*, US395782 (A), 8 janvier 1889.

Kant Immanuel, *Critique de la raison pure* [1781, 1787], éd. F. Alquié, trad. A. J. L. Delamarre, F. Marty, à partir de la traduction de Jules Barni, Paris, Gallimard, coll. « Folio Essais », 1980.

Kittler Friedrich, « Computergrafik. Eine halbertechnische Einführung », in *Paradigma Fotografie. Fotokritik am Ende des fotografischen Zeitalters*, Herta Wolf (ed.), Francfort-sur-le-Main, Suhrkamp, 2002, p. 178-194,

——— *Film, Grammophon, Typewriter*, Berlin, Brinkmann & Bose, 1986. Une traduction française est en préparation : Kittler F., *Gramophone, Film, Typewriter*, trad. Frédérique Vargoz, Dijon, Les Presses du réel, 2017.

——— *Médias optiques. Cours berlinois 1999* [2002], traduction française par Anaïs Carvalho, Tamara Eble, Ève Vassière, Slaven Waelti, sous la direction d'Audrey Rieber, avec une introduction de Peter Berz, Paris, L'Harmattan, coll. « Esthétiques allemandes », 2015.

Knuth Donald E., *The Art of Computer Programming*, vol. 3 (2^e éd.), *Sorting and Searching*, Redwood City, CA, USA, Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1998.

Mach Ernst, *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen* (réimpr. de la 9^e édition, Iena, 1922), Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991.

Möbius August Ferdinand, *Gesammelte Werke*, vol. 1, Leipzig, Hirzel, 1885.

Nake Frieder, « Das doppelte Bild », in *Digitale Form*, Margarete Pratschke (éd.), 3.2: Bildwelten des Wissens, Berlin, Akademie Verlag, 2005, p. 40-50.

Neumann (von) John, « First Draft of a Report on the EDVAC », Moore School of Electrical Engineering, Université de Pennsylvanie, 30 juin 1945.

Newton Isaac, *Newton's Principia: the Mathematical Principles of Natural Philosophy* [1687], traduit par A. Motte, New York, NY, 1^{re} édition américaine revue et corrigée, avec une biographie de l'auteur par N. W. Chittenden, New York, Daniel Adee, 1846.

Phuong Bui Tuong, « Illumination of Computer Generated Pictures », *Communication of the ACM* 18, n° 6, 1975, p. 311-317.

Pias Claus, « Das digitale Bild gibt es nicht. Über das Wissen der Bilder und die informatorische Information », o. J. <http://www.zeitenblicke.de/2003/01/pias/index.html>.

Schoenberg I. J., « Contributions To The Problem Of Approximation Of Equidistant Data By Analytic Functions: Part A. On The Problem Of Smoothing Or Graduation. A First Class Of Analytic Approximation Formulae », *Quarterly of Applied Mathematics* 4, n° 1, 1946, p. 45-99.

Serres Michel, « Gnomon : les débuts de la géométrie en Grèce » in *Éléments d'histoire des sciences*, Serres M. (dir.), Paris, Bordas, 1986.

Steyerl Hito, « The Spam of the Earth. Withdrawal from Representation », in *e-flux* 32, 2012. <http://www.e-flux.com/journal/32/68260/the-spam-of-the-earth-withdrawal-from-representation/>.

Sutherland Ivan E., Sproull Robert F., Robert A. Schumacker, « A Characterization of Ten Hidden-Surface Algorithms », in *ACM Comput. Surv.* 6, n° 1, 1974, p. 1-55.

Vagt Christina, « Kosmographien. Heideggers Weltbildkritik und der diagrammatische Grund », in *Prätere Bilder*, Thorsten Bothe et Robert Suter (eds), Munich, Fink Verlag, 2010, p. 159-174.

Virilio Paul, *La Machine de vision*, Paris, Éditions Galilée, 1988.

Whitted Turner, « An Improved Illumination Model for Shaded Display », *Communications of the ACM* 23, n° 6, juin 1980, p. 343-349.

NOTES

1. Kittler Friedrich, « Computergrafik. Eine halbtechnische Einführung », in *Paradigma Fotografie. Fotokritik am Ende des fotografischen Zeitalters*, Herta Wolf (ed.), Francfort-sur-le-Main, Suhrkamp, 2002, p. 178-194.
2. Voyez la contribution de Gerald Wildgruber dans ce numéro.
3. Flusser Vilém, *Medienkultur* [1993], Francfort-sur-le-Main, Fischer Taschenbuch Verlag, 1997, p. 134. Pour la traduction française, voir : V. Flusser, *La Civilisation des médias*, trad. Claude Maillard, Belval, Circé, 2006.
4. Cf. Kittler F., « Computergrafik. Eine halbtechnische Einführung », p. 178 ; Vilém Flusser, *Ins Universum der technischen Bilder*, Göttingen, European Photography Berlin, 1992 ; V. Flusser, *Kommunikologie*, Mannheim, Fischer Taschenbuch Verlag, 1996.
5. Kittler F., « Computergrafik. Eine halbtechnische Einführung », *op. cit.*, p. 182.
6. Sur le problème de la représentation comme critique de l'image chez Heidegger, voir Vagt Christina, « Kosmographien. Heideggers Weltbildkritik und der diagrammatische Grund », in *Präkere Bilder*, Thorsten Bothe et Robert Suter (eds.), Munich, Wilhelm Fink Verlag, 2010, p. 159-174.
7. Nake Frieder, « Das doppelte Bild », in *Digitale Form*, Margarete Pratschke (ed.), 3.2, p. 40-50, « Bildwelten des Wissens », Berlin, Akademie-Verlag, 2005, p. 47.
8. Kittler F., « Computergraphik. Eine halbtechnische Einführung », *op. cit.*, p. 183.
9. Virilio Paul, *La Machine de vision*, Paris, Éditions Galilée, 1988.
10. Kittler F., *Médias optiques. Cours berlinois 1999* [2002], traduction française par Anaïs Carvalho, Tamara Eble, Ève Vassière, Slaven Waetli, sous la direction d'Audrey Rieber, avec une introduction de Peter Berz, Paris, L'Harmattan, coll. « Esthétiques allemandes », 2015, p. 51.
11. cf. Gaboury Jacob, « Hidden Surface Problems: On the Digital Image as Material Object », in *Journal of Visual Culture* 14, n° 1, avril 2015, p. 40-60.
12. Kittler F., *Médias optiques*, *op. cit.*, p. 260.
13. Sutherland Ivan E., Sproull Robert F., Robert A. Schumacker, « A Characterization of Ten Hidden-Surface Algorithm », *ACM Computer Survey* 6, n° 1, 1974, p. 1-55. Ici : p. 3.
14. Möbius August Ferdinand, *Gesammelte Werke*, vol. 1, Leipzig, Hirzel, 1885, p. VIII.
15. Sutherland I. E., Sproull R. F. et R. A. Schumacker, « A Characterization of Ten Hidden-Surface Algorithms », p. 3.
16. Knuth Donald E., *The Art of Computer Programming*, volume 3 (2nd edition): Sorting and Searching, Redwood City, CA, USA, Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1998, p. 1.
17. Hollerith Herman, *Art of Compiling Statistics*. US395782 (A), 8. January 1889, p. 4.
18. EDVAC pour Electronic Discrete Variable Automatic Computer [N.d.T.]. Cf. John von Neumann, « First Draft of a Report on the EDVAC », Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, June 30th 1945, p. 3.
19. Knuth D. E., *The Art of Computer Programming*, *op. cit.*, vol. 3, p. 384.
20. Tuong Phuong Bui, « Illumination of Computer Generated Pictures », *Communications of the ACM* 18, no 6, 1975, p. 311-317 ; ici : p. 311.
21. Gouraud Henri, « Continuous Shading of Curved Surfaces », *IEEE Transactions on Computers* C-20, no 6, June 1971, p. 623-629 ; ici : p. 629.
22. *Ibid.*, p. 626.

23. Bellin Isabelle, « Images de synthèse : palme de la longévité pour l'ombrage de Gouraud », Document Interstices, in *Interstices*, 1. Septembre 2008. <https://interstices.info/ombrage-gouraud>.
24. Mach Ernst, *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen* (réimpr. de la 9^e édition, Iéna, 1922), Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991, p. 196.
25. Tuong Phuong Bui, « Illumination of Computer Generated Pictures », *op. cit.*, p. 315.
26. *Loc. cit.*
27. L'équation du *shading* de Phuong est la suivante : $S_p = C_p [\cos(i)(1-d) + d] + W(i)[\cos(s)]^n$, lorsque, pour l'ombre de chaque point, l'angle entre la lumière réfléchie et la ligne de vision est S_p , s.
28. Newton Isaac, *Newton's Principia: the Mathematical Principles of Natural Philosophy* (1687), traduit par A. Motte (1729), New York, NY, 1^{re} édition américaine, revue et corrigée, avec une biographie de l'auteur par N. W. Chittenden, New York, Daniel Adee, 1846, Livre 3, Lemme V.
29. Schoenberg I. J., « Contributions to the Problem of Approximation of Equidistant Data by Analytic Functions: Part A. on the Problem of Smoothing or Graduation. A First Class of Analytic Approximation Formulae », *Quarterly of Applied Mathematics* 4, no 1, 1946, p. 45-99. Ici : p. 72.
30. Kittler F., « Computergraphik. Eine halbtechnische Einführung », *op. cit.*, p. 178.
31. *Ibid.*, p. 186.
32. Whitted Turner, « An Improved Illumination Model for Shaded Display », *Communications of the ACM* 23, no 6, June 1980, p. 343-349. Ici : p. 346.
33. *Ibid.*, p. 345.
34. *Ibid.*, p. 346.
35. « L'infographie serait enfin infographie si elle pouvait donner à voir ce qui semble ne pas être vu – des parties optiques de dynamiques de particules gérées selon la physique quantique » (Kittler F., « Computergrafik. Eine halbtechnische Einführung », *op. cit.*, p. 193).
36. *Ibid.*, p. 191 sq.
37. Cf. Serres Michel, « Gnomon: Die Anfänge der Geometrie in Griechenland », in *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften*, Michel Serres, Isabelle Stengers, Bruno Latour *et al.* (dir.), Francfort-sur-le-Main, 1995, p. 108-175, ici : p. 125. Pour le texte en français, voir : M. Serres, « Gnomon : les débuts de la géométrie en Grèce » in *Éléments d'histoire des sciences*, M. Serres (dir.), Paris, Bordas, 1986.
38. Kittler F., *Médias optiques*, *op. cit.*, p. 258.
39. *Ibid.*, p. 66. Le « réel » est en français dans le texte.
40. Kittler F., « Computergraphik. Eine halbtechnische Einführung », *op. cit.* p. 193.
41. Cf. Bitsch Annette, « Always crashing in the same car ». *Jacques Lacans Mathematik des Unbewussten*, Weimar, VDG Verlag und Datenbank für Geisteswissenschaften, 2002, p. 337 sq.
42. Cf. Kittler F., *Film, Grammophon, Typewriter*, Berlin, Brinkmann & Bose, 1986.
43. Kittler F., « Computergraphik. Eine halbtechnische Einführung », *op. cit.*, p. 189.
44. *Ibid.*, p. 188.
45. *Ibid.*, p. 190 sq.
46. Flusser V., *Kommunikologie*, *op. cit.* p. 140.
47. Cf. Pias Claus, « Das Digitale Bild gibt es nicht. Über das Wissen der Bilder und die informatorische Information », 2003, <http://www.zeitenblicke.de/2003/01/pias/index.html> (consulté la dernière fois le 02.10.2016) ; et Hagen Wolfgang, « Es gibt kein 'digitales Bild.' Eine medienepistemologische Anmerkung », <http://www.whagen.de/publications/EsGibtKeinDigBild/egkdb.htm> (consulté la dernière fois le 02.10.2016).
48. Voir Flusser V., *Kommunikologie*, *op. cit.*, p. 139 sq.
49. *Ibid.*, p. 149. [Traduction A.R.]
50. *Ibid.*, p. 222.
51. Cf. Steyerl Hito, « The Spam of the Earth. Withdrawal from Representation », in *e-flux* 32, 2012. <http://www.e-flux.com/journal/32/68260/the-spam-of-the-earth-withdrawal-from-representation/> (consulté le 02.10.2016).

52. *Id.*

53. Cf. Steyerl Hito, *How Not to be Seen : A Fucking Didactic Educational.MOV File*, 2013.

RÉSUMÉS

L'article relit la thèse de Kittler selon laquelle l'avènement des médias optiques constituerait la fin des beaux-arts à partir d'un texte contemporain aux *Médias optiques. Cours berlinois 1999* : « Infographie. Une introduction semi-technique ». Les auteurs interrogent l'idée selon laquelle les médias optiques trouveraient leur fin dans les procédés algorithmiques de l'infographie, et développent une réflexion sur la surface de l'image et ses dessous techniques. Dans un premier temps, ils examinent la sous-face de l'image à partir de trois problèmes rencontrés par l'infographie à ses débuts. Puis ils explorent les enjeux de l'historiographie kittlérienne des médias optiques et de leur fin présumée dans l'infographie, du point de vue de la philosophie du sujet et de sa disparition. Ces analyses sont l'occasion d'une discussion autour des réflexions de Vilém Flusser sur la techno-imagination ainsi que des travaux de l'artiste contemporaine Hito Steyerl sur les techniques d'invisibilisation.

INDEX

Mots-clés : infographie, image, ombrage, statistique, techno-imagination, sujet, Flusser, Hito Steyerl